

Инерционные колебания и завихренность течений
в центральной части Японского моря
(по данным поверхностных буев в октябре – ноябре 2011 г.)



О. О. Трусенкова, В. Б. Лобанов, С. Ю. Ладыченко, Д. Д. Каплуненко
ТОИ ДВО РАН

*19-я Международная конференция «Современные проблемы
дистанционного зондирования Земли из космоса»,
г. Москва, 15 – 19 ноября 2021 г.*

Введение

Два поверхностных буя типа SVР от компании “Марлин-Юг” (Мотыжев, 2016) были выпущены в районе к югу от залива Петра Великого Японского моря 4 октября 2011 г. в 54-м рейсе НИС «Профессор Гагаринский». Дрейф этих буюв обсуждался в работе (Трусенкова и др., 2021). Оба бую, получившие в системе Argos идентификаторы Р172 и Р174, сначала дрейфовали с течениями, но вскоре, после резкого усиления ветра и, вероятно, потери парусов, стали двигаться преимущественно под воздействием ветра по почти параллельным траекториям, за полтора месяца пересекли море и были выброшены на берег в северной части о. Хонсю в последней декаде ноября. Значительное влияние на дрейф оказали синоптические вихри, особенно в зоне Цусимского течения в восточной части моря. В работе (Трусенкова и др., 2021) отмечалось также наличие инерционных колебаний буюв и их интенсификация при усилении ветра.

Ранее было установлено, что эффективная частота инерционных колебаний отклоняется от локальной инерционной частоты под воздействием относительной завихренности течений: циклоническая завихренность увеличивает ее, а антициклоническая уменьшает (Kunze, 1985).

Цель работы

В этой связи целью данной работы является анализ изменений эффективной частоты инерционных колебаний поверхностных буев и связь с завихренностью фоновых течений, а также сравнение с оценками завихренности по альтиметрическим данным и качественное сравнение с динамическими структурами по спутниковым ИК изображениям.

Поверхностные буи SVP/30T (Surface Velocity Program)

Разработка компании «Марлин-Юг», г. Севастополь.

Измерения

Координаты GPS/Глонасс

Приемник GNSS GlobalTop Titan3

Температура

Диапазон от -5 до +40°C

Погрешность не более 0,1°C

Разрешение 0,01°C

Период измерений 1 мин

Передача данных

Мобильная связь GSM (GPRS)

Спутниковая система Argos

Конструкция

Источник питания

Тип щелочные элементы
сменный

Выключатель

съемный магнитный

Корпус

Материал стеклопластик

Цвет белый

Диаметр 34 см

Подводный парус

Материал нейлон

Тип Tristar

Размеры

В рабочем состоянии 100 x 100 x 100 см

В сложенном состоянии 25 x 25 x 70 см

Горизонт размещения 1 м

DAR* не менее 40

Масса 12 кг



Скорость течения по данным спутниковой альтиметрии

СМЕМС, ежедневные сеточные ($1/4^\circ$) поля зональной (u) и меридиональной (v) компонент скорости течения за период 4 октября – 19 ноября 2011 г.

Относительная завихренность течения $\zeta = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y$,

число Россби со знаком: $Ro = \zeta / f$,

$Ro > 0$ – циклоническая завихренность,

$Ro < 0$ – антициклоническая завихренность.

Спутниковые ИК изображения

AVHRR NOAA, разрешение 1 км (Центр регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН; <http://satellite.dvo.ru>)

Вейвлет ротари-спектры (Liu, Miller, 1996)

Обобщение ротари-спектров Фурье (Gonella, 1972), применимо к нестационарным временным рядам.

На основе комплексного материнского вейвлета Морле 6-го порядка.

Инерционные колебания дают максимумы на соответствующей частоте в антициклоническом ротари-спектре.

Инерционный период на широтах дрейфа $T_i = 2\pi/f \sim 0.74\text{--}0.79$ сут (17.7–19.1 час), где f – параметр Колиолиса.

Расчет фоновой относительной завихренности по смещению инерционной частоты (периода)

Смещение инерционной частоты в зависимости от фоновой относительной завихренности: $f_{\text{eff}} = f^i + \zeta/2$ (Kunze, 1985), где f^i – инерционная частота, f_{eff} – эффективная инерционная частота, ζ – относительная завихренность (z-компонента ротора скорости течения).

Для оценки фоновой завихренности:

Число Россби со знаком: $Ro = \zeta / f = 2(f^{\text{eff}} / f^i - 1) = 2(T_i / T_{\text{eff}} - 1)$, где T_i и T_{eff} – инерционный и эффективный инерционный периоды.

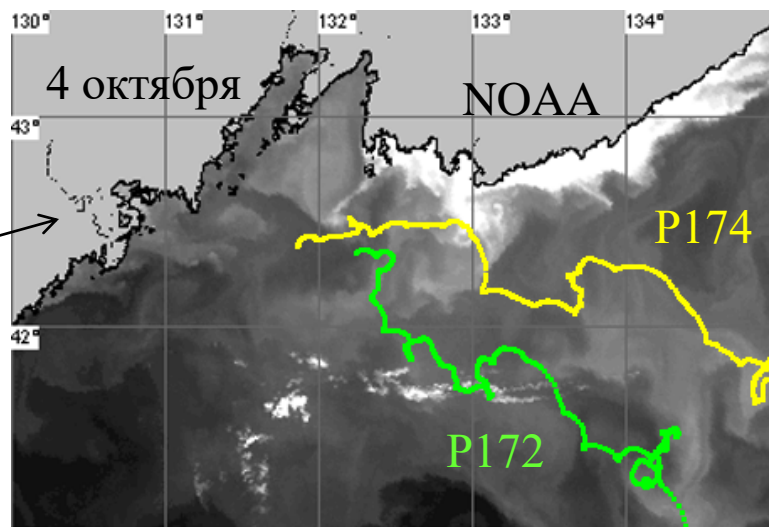
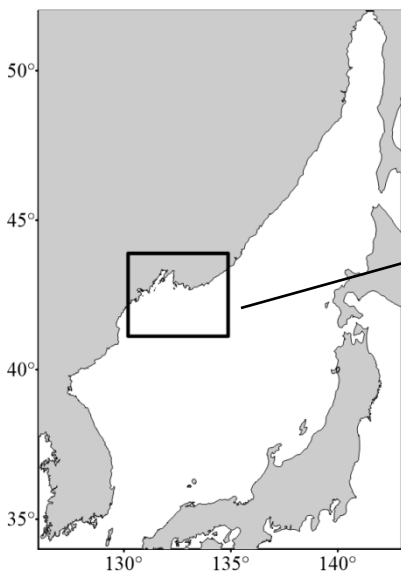
$Ro > 0, T_{\text{eff}} < T_i$ – циклоническая фоновая завихренность,

$Ro < 0, T_{\text{eff}} > T_i$ – антициклоническая фоновая завихренность.

Критерии отбора событий (временных периодов) смещения инерционной частоты

1. Мощность АЦ вейвлет ротари-спектра статистически значима (на 90%-м уровне) по отношению к теоретическому спектру красного шума.
2. $|Ro| > 0.1$ – квазигеострофический режим фонового потока.
3. Событие находится вне конуса влияния краевых эффектов.
4. Длительность события больше инерционного периода.
5. За T_{eff} принимается период, на котором мощность спектра максимальна.

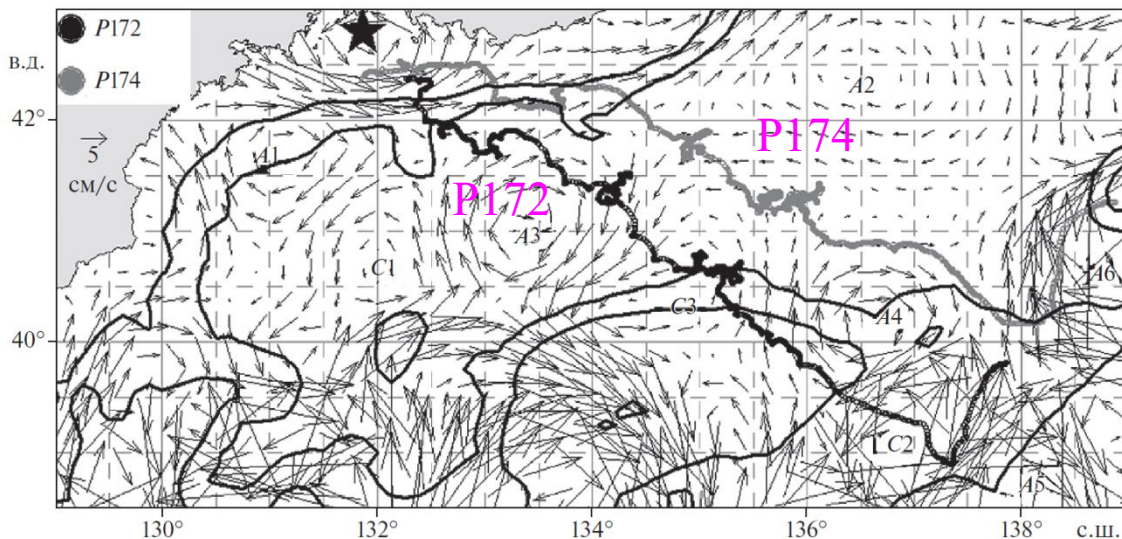
Дрейф буев



Выпуск буев
4 октября 2011 г.
Координаты
каждый час
(система ARGOS),
расчет скорости
дрейфа.

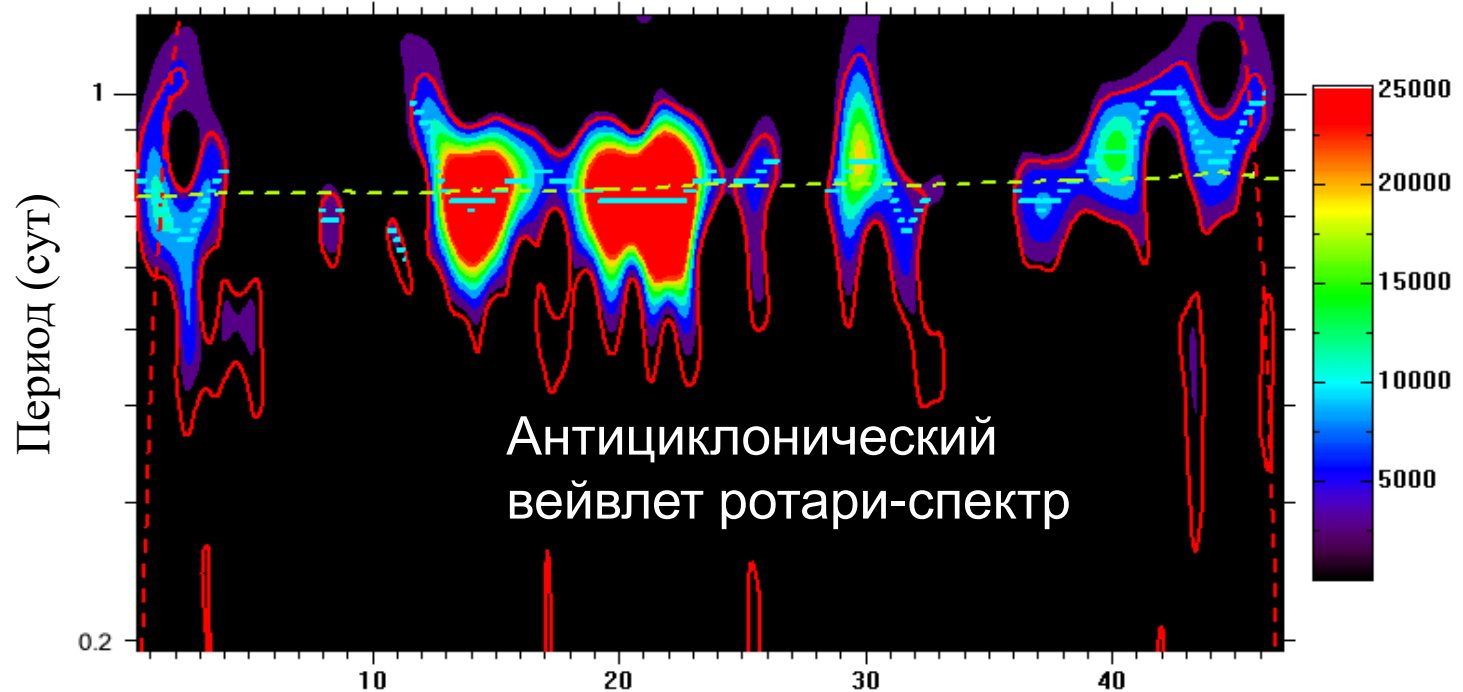
Темные тона – теплые воды, светлые – холодные.

Схема дрейфа
(Трусенкова и др.,
2021); наложены
альтиметрические
течения, осредненные
за период 4 октября –
19 ноября 2011 г.



Инерционные колебания P172: смещения частоты и оценка R_0

АЦ ротари-
спектр скорости
дрейфа в
инерционном
диапазоне;
показан 90%-й
уровень
значимости.



Число Россби
со знаком:
 $R_0 > 0$: Ц ζ
 $R_0 < 0$: АЦ ζ



Желтый пунктир: инерционный период на широте дрейфа,
голубой пунктир – эффективный инерционный период.

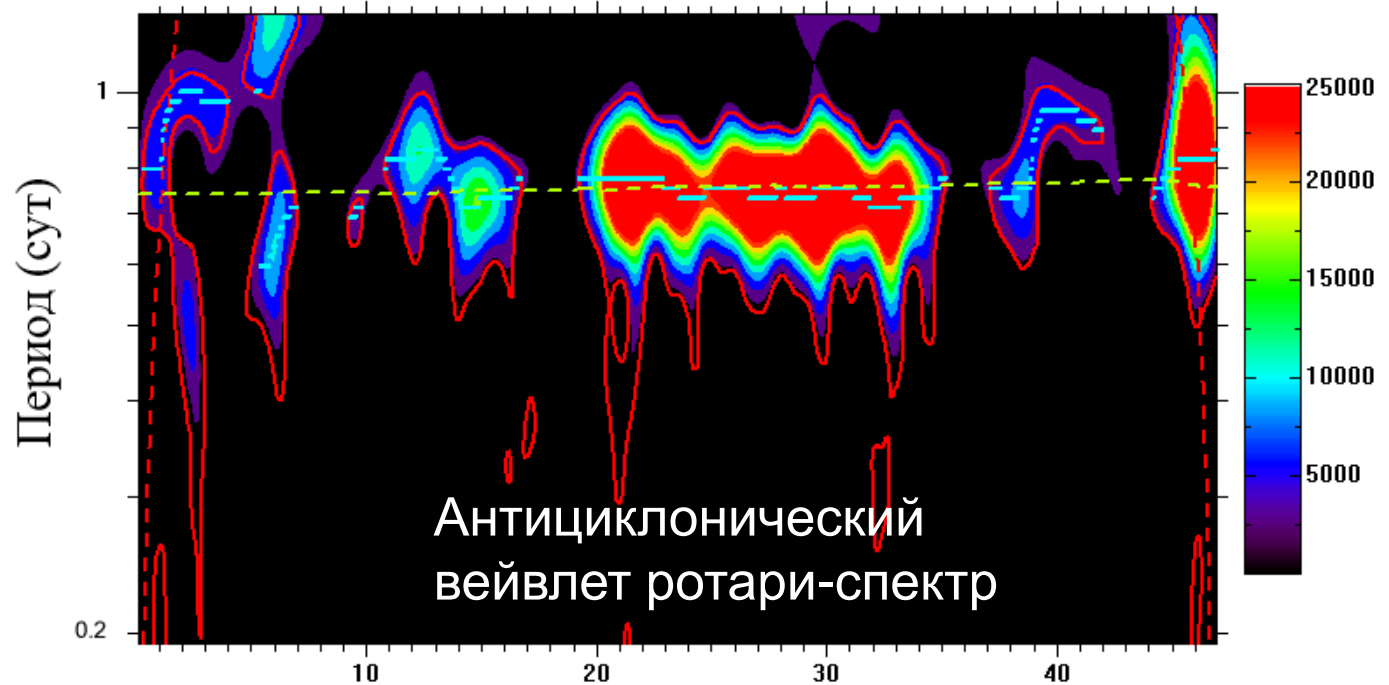
P172: события смещения инерционного периода

<i>№</i>	<i>Сутки дрейфа</i>	<i>Дата и время</i>	<i>Длительность</i>	<i>Координаты</i>	<i>Среднее R_0</i>
1	1.6–2.9	5.10, 14.00 – 6.10, 22.00	1сут 9 час	42.4°–42.0° с.ш.	0.21
2	7.9–8.7	11.10, 22.00 – 12.10, 17.00	19 час	41.7° с.ш, 133.2° в.д.	0.17
3	11.6–12.7	15.10, 14.00 – 16.10, 17.00	1сут 3 час	133.3°–133.5° в.д.	-0.38
4	16.5–17.2	20.10, 12.00 – 21.10, 5.00	18 час	41.5° с.ш, 134.3° в.д.	-0.11
5	29.4–30.5	2.11, 10.00 – 3.11, 12.00	1сут 3 час	40.6° с.ш, 135.3° в.д.	-0.13
6	31.3–32.2	4.11, 7.00 – 5.11, 5.00	22 час	40.6° с.ш, 135.4° в.д.	0.22
7	36.3–37.9	9.11, 7.00 – 10.11, 22.00	1сут 16 час	135.4°–135.6° в.д.	0.12
8	39.0–43.9	12.11, 0.00 – 16.11, 22.00	4сут 22 час	135.7°–137.2° в.д.	-0.21
9	44.7–45.7	17.11, 17.00 – 18.11, 17.00	1сут 2 час	137.3°–137.7° в.д.	-0.34

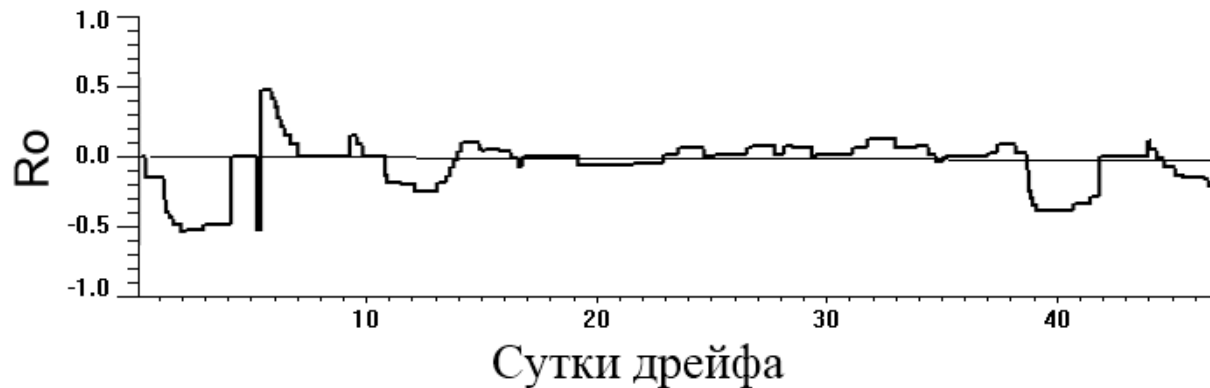
События, отвечающие вышеприведенным критериям

Инерционные колебания P174: смещения частоты и оценка R_o

АЦ ротари-
спектр скорости
дрейфа в
инерционном
диапазоне;
показан 90%-й
уровень
значимости.



Число Россби
со знаком:
 $R_o > 0$: Ц ζ
 $R_o < 0$: АЦ ζ



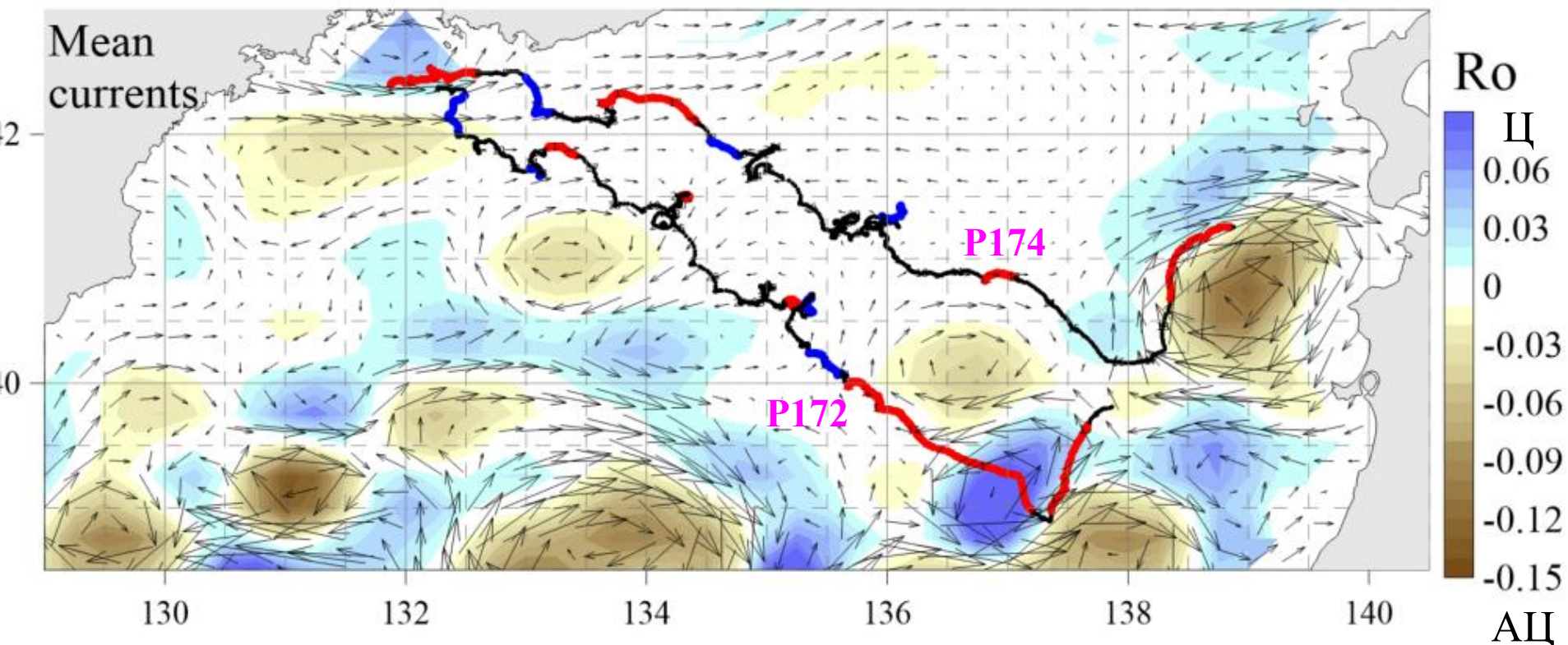
Желтый пунктир: инерционный период на широте дрейфа,
голубой пунктир – эффективный инерционный период.

R174: события смещения инерционного периода

<i>№</i>	<i>Сутки дрейфа</i>	<i>Дата и время</i>	<i>Длительность</i>	<i>Координаты</i>	<i>Среднее R_0</i>
1	1.0–4.0	5.10, 0.00 – 8.10, 0.00	3 сут	131.8°–132.6° в.д.	-0.49
2	5.4–6.6	9.10, 11.00 – 10.10, 14.00	1 сут 3 час	42.5°–42.2° с.ш.	0.35
3	10.8–13.6	14.10, 19.00 – 17.10, 14.00	1 сут 7 час	133.7°–134.4° в.д.	-0.19
4	14.1–14.9	18.10, 2.00 – 21.00	20 час	134.5°–134.7° в.д.	0.10
5	31.9–33.1	4.11, 22.00 – 6.11, 2.00	1 сут 4 час	135.9°–136.2° в.д.	0.12
6	38.9–42.0	11.11, 22.00 – 13.11, 0.00	1 сут 2 час	136.8°–137.1° в.д.	-0.39
7	45.4–46.3	18.11, 10.00 – 19.11, 8.00	18 час	138.3°–138.8° в.д.	-0.15

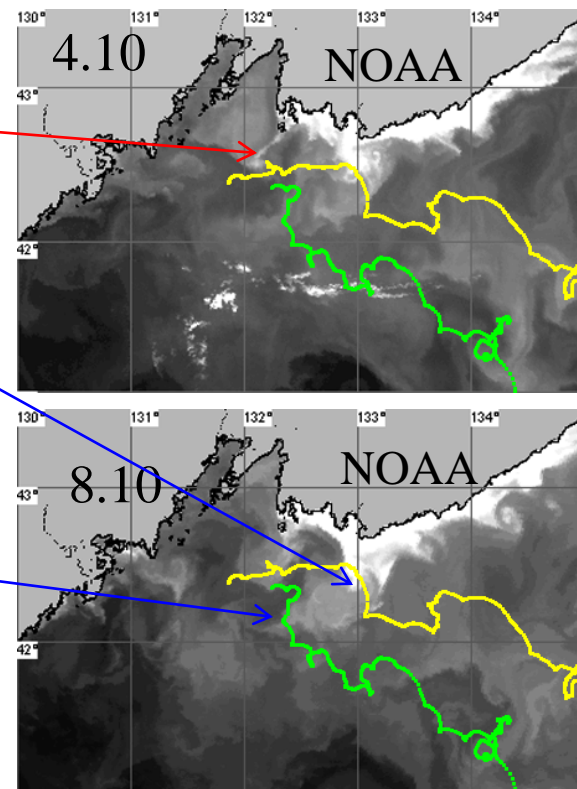
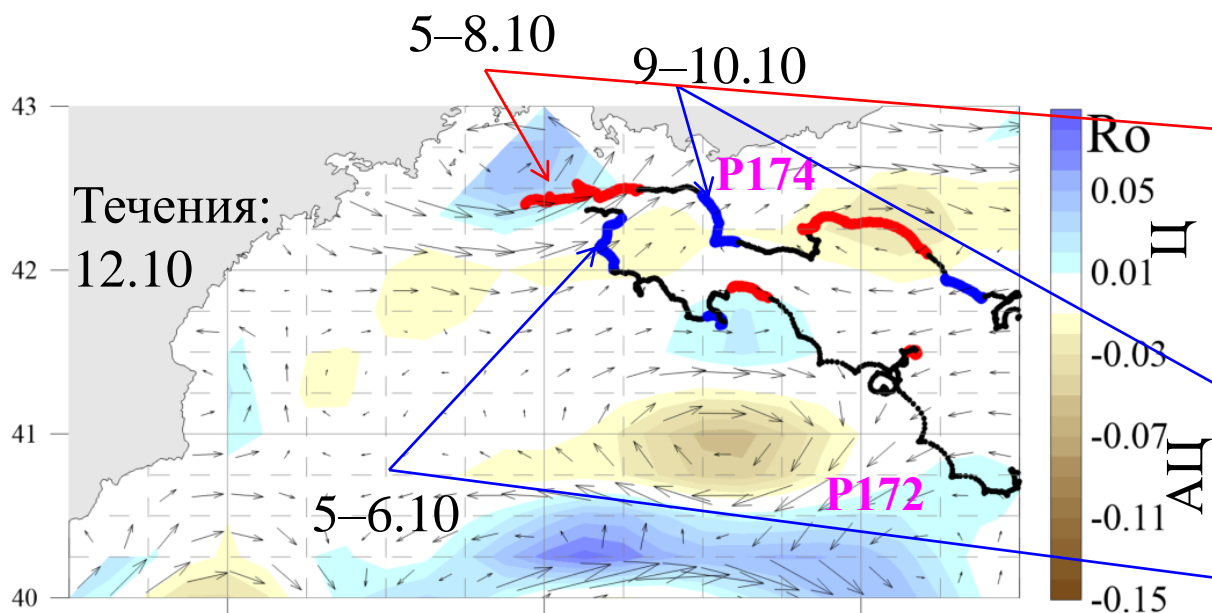
События, отвечающие вышеприведенным критериям

Схема дрейфа, альтиметрические течения и R_o



Траектории дрейфа буев: красным – участки, где $R_o > 0$, синим – $R_o < 0$.
Средние за период дрейфа течения (стрелки; см/с) и R_o (заливка) по альтиметрическим данным.

Дрейф в районе залива Петра Великого (4–11 октября)

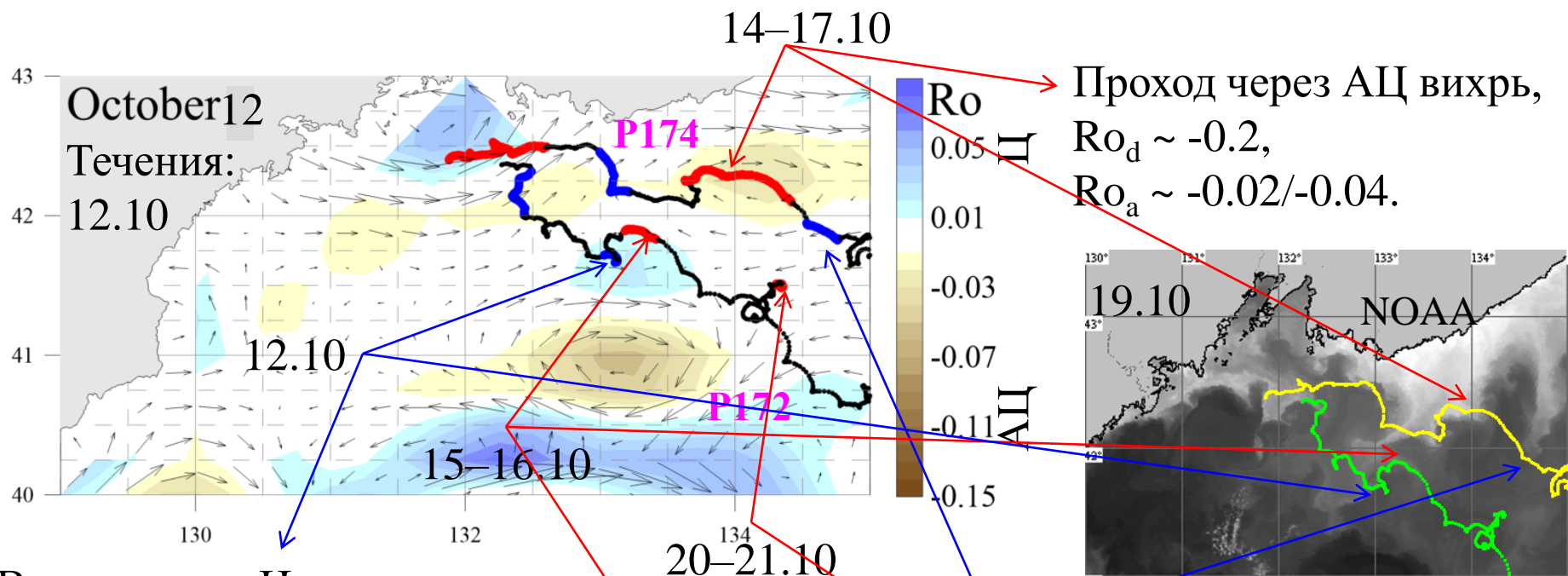


Дрейф буев определяется течениями (Трусенкова и др., 2021) и подтверждается характером мезомасштабных структур на ИК изображениях; для воспроизведения этих структур данные альтиметрии недостаточно детальны, что объясняет несоответствие течений по дрейфу и альтиметрии. Завихренность может менять знак на периферии синоптических вихрей, окруженных мезомасштабными структурами.

Траектории дрейфа буев, красным – участки с > 0 , синим – с $R_o < 0$. Течения (стрелки) и R_o (заливка) по альтиметрическим данным.

Темные тона – теплые воды, светлые – холодные.

Дрейф в районе 133°–135° в.д.



Проход через АЦ вихрь,
 $Ro_d \sim -0.2$,
 $Ro_a \sim -0.02/-0.04$.

Темные тона – теплые воды,
 светлые – холодные.

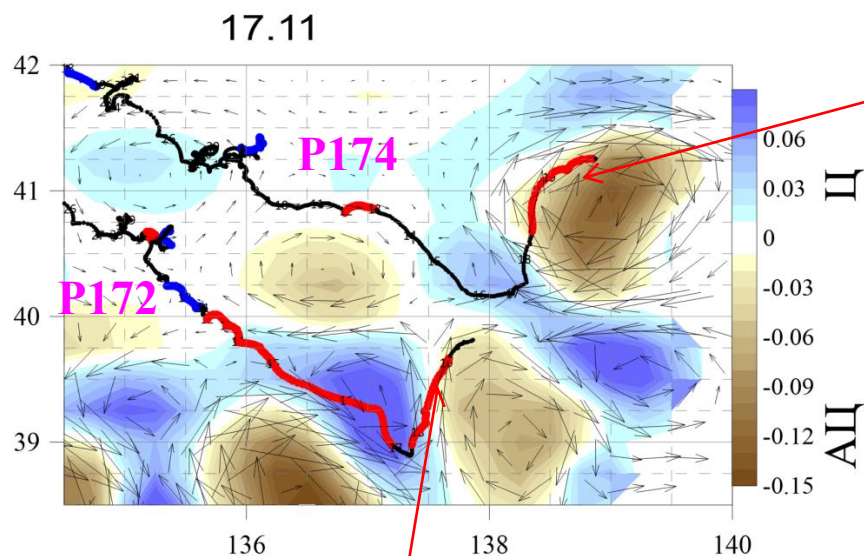
$|Ro_a| < 0.01$

Внутри зоны Ц завихренности
 ($Ro_d \sim 0.17$, $Ro_a \sim 0.01/0.03$).

ИК-снимки показывают сложные структуры;
 завихренность может менять знак на периферии
 синоптических вихрей, окруженных
 мезомасштабными.

Траектории дрейфа буев, красным – участки с > 0 , синим – с $Ro < 0$.
 Течения (стрелки) и Ro (заливка) по альтиметрическим данным.

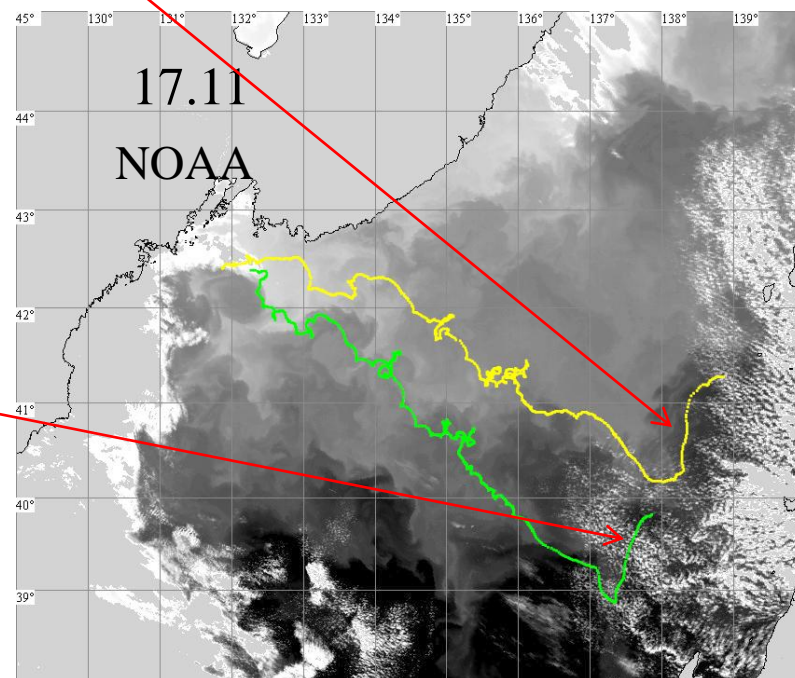
Дрейф в зоне вихрей Цусимского течения



17–18.11
($Ro_d \sim -0.2/-0.4$, $Ro_a \sim -0.02/-0.03$).

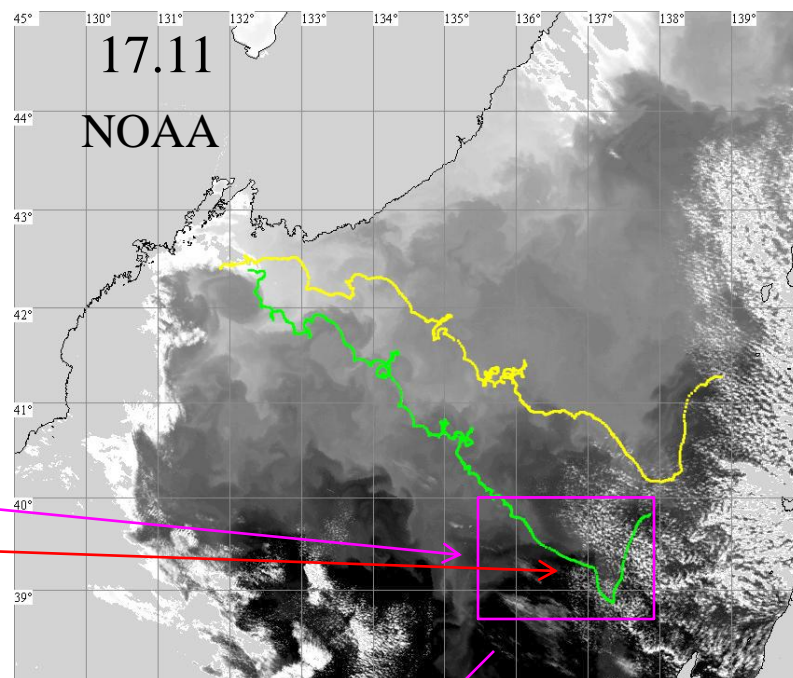
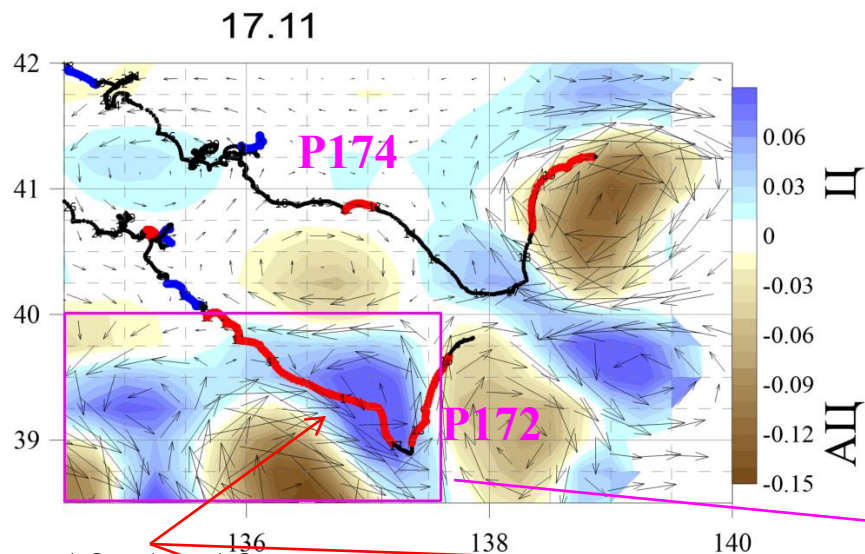
Дрейф с крупными АЦ вихрями,
оценки Ro_d и Ro_a указывают на АЦ
завихренность, но различаются на
порядок величины.

18–19.11
($Ro_d \sim -0.2/-0.4$,
 $Ro_a \sim -0.02/-0.04$).



Траектории дрейфа буев, красным – участки с $s > 0$, синим – с $Ro < 0$.
Течения (стрелки) и Ro (заливка) по альтиметрическим данным.

Дрейф Р172 в районе 136°–138° в.д.

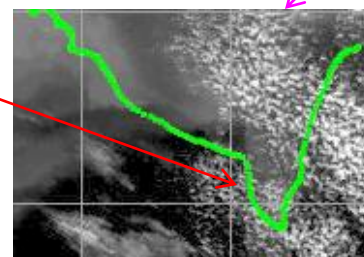


12–16.10
($Ro_d \sim -0.2/-0.45$, $Ro_a \sim -0.02/-0.03$).

Альтиметрия: Ц вихрь на $136.5^\circ-137.5^\circ$ в.д., дрейф буя сквозь него, $Ro_d \sim -0.11/-0.45$, указывает на АЦ завихренность.

ИК: чередование холодных и теплых струй.

Альтиметрия не воспроизводит мезомасштабные структуры.



Нет крупного Ц вихря; Р172 дрейфует через теплые воды.

Траектории дрейфа буев, красным – участки с $Ro > 0$, синим – с $Ro < 0$. Течения (стрелки) и Ro (заливка) по альтиметрическим данным.

Заключение

На основе вейвлетного ротари-спектров скорости дрейфа буев выявлено как красное, так и голубое смещение инерционной частоты, что можно связать с АЦ и Ц завихренностью (ζ) фоновых течений соответственно.

Для крупных вихрей размерами от 100 км имеет место качественное соответствие с данными спутниковой альтиметрии, но оценка ζ по данным буев в 5–10 раз выше.

При наличии динамических структур размером менее 50 км возможно расхождение двух оценок ζ и по знакам, но оценка по буям подтверждается качественным сходством с ИК изображениями.

Данные поверхностных буев можно использовать для оценки фоновой ζ , тогда как данные альтиметрии недостаточно детальны для воспроизведения мезомасштабных структур.

Спасибо за
внимание!